

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий механічний інститут
Кафедра теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства



02-05-133М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійного вивчення дисципліни «Теорія механізмів і машин» на
тему: «Кінематичний синтез важільних механізмів» для здобувачів
вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-
професійними програмами «Механічна інженерія» і «Транспорт»
спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування»,
274 «Автомобільний транспорт»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною
радою з якості освіти ННМІ
Протокол № 3
від «27» жовтня 2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки для самостійного вивчення дисципліни «Теорія механізмів і машин» на тему: «Кінематичний синтез важільних механізмів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Механічна інженерія» і «Транспорт» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Похильчук І. О. – Рівне : НУВГП, 2020. – 17 с.

Укладач: Похильчук І. О., кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства.

Відповідальний за випуск Козяр М. М., доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства.

Керівник групи забезпечення
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

Кравець С. В.

Керівник групи забезпечення
спеціальності 274 «Автомобільний
транспорт»

Марчук М. М.

© І. О. Похильчук, 2020
© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2020

ВСТУП

Проектування механізмів – це комплексна проблема, яка складається із декількох самостійних етапів. Першим етапом проектування являється розробка кінематичної схеми механізму, яка забезпечувала б необхідний вид і закон руху. Другим етапом – розробка конструктивних форм механізму, які забезпечували б його міцність, надійність, довговічність та високий коефіцієнт корисної дії і тому подібне. На третьому етапі проектування розраховуються технологічні і техніко-економічні показники механізму.

В ТММ в основному розглядаються методи за допомогою яких вирішується перший етап проектування: розробка кінематичних схем механізму, які відтворювали б необхідний закон руху. Під проектуванням механізмів розуміється проектування їх кінематичних схем. Розділ теорії механізмів присвячений методам проектування за заданими кінематичними умовами схем механізмів, має назву *синтез механізмів*.

Синтез кінематичної схеми механізму полягає у визначенні його параметрів (розмірів ланок, або точніше - відстаней між осями кінематичних пар), які б задовільняли наперед заданим умовам (точки ланок переміщались за необхідними законами). При цьому частина розмірів задається, а всі інші розміри повинні бути визначені.

Дані методичні вказівки дозволяють студентам денної та заочної форм навчання *знати* основні параметри та методи, які необхідні для проектування кінематичних схем механізмів та *уміти* самостійно визначати невідомі розміри ланок механізмів, які б дозволяли ланкам механізмів відтворювати наперед задані закони руху.

Зміст методичних вказівок повністю відповідає ОКХ і ОПП 133 «Галузеве машинобудування» та 274 «Автомобільний транспорт».

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При вирішенні задач синтезу повинні бути прийняті до уваги усі умови, які б забезпечували відтворення необхідних рухів ланок. Такими умовами є: правильна структура механізму, що проектується; кінематична точність відтворюваних рухів; можливість відтворення механізмом, що проектується необхідних законів руху з точки зору динаміки; розміри ланок механізму повинні дозволяти відтворювати необхідний закон руху.

Основними задачами синтезу механізмів є:

- перетворення обертового руху відносно однієї осі у обертовий рух відносно іншої осі;
- перетворення обертового руху відносно однієї осі у поступальний рух відносно певної направляючої та навпаки;
- перетворення поступального руху відносно певної направляючої у поступальний рух відносно іншої заданої направляючої;
- відтворення однією з точок ланок механізму необхідної траєкторії.

При вирішенні перших трьох задач зазвичай задаються необхідні закони руху тих ланок, між якими здійснюється передача руху у вигляді заданих у функції часу лінійних та кутових переміщень або лінійних та кутових швидкостей.

При вирішенні четвертої задачі задається необхідна траєкторія аналітично у вигляді рівняння, або графічно окремими точками, які лежать на траєкторії.

Крім того задаються бажані конструктивні форми механізмів, які повинні здійснювати задані рухи, та деякі умови динамічного характеру, які впливають на к.к.д. механізму, на стабільність його руху, на міцність деталей та ін.

У спроектованому *важільному механізмі* повинні виконуватись наступні умови:

- ведучою ланкою має бути кривошип;
- повинна забезпечуватись ефективна передача сил;
- відношення часу робочого і холостого ходів має бути більше за одиницю;
- хід, або розмах, веденої ланки мусить бути суворо визначеним;
- виконавчий орган механізму має рухатись по заданій траєкторії і т.д.

2. СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ

Прийmemo умовні позначення (*рис.1*):

r - довжина кривошипа;

φ - кут повороту, який утворює кривошип з напрямком KM ;

φ_1 і φ_2 - гострі кути, які утворює кривошип з напрямком KM у крайніх положеннях повзуна;

l - довжина шатуна;

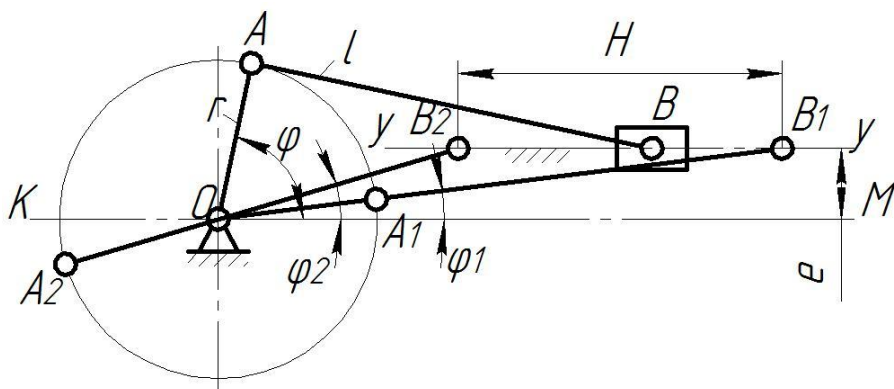
e - зміщення (дезаксіал);

λ - величина, рівна відношенню $\lambda = \frac{l}{r}$;

$$k - \text{коефіцієнт зміни швидкості ходу повзуна: } k = \frac{180^\circ + \Theta}{180^\circ - \Theta},$$
$$\Theta = 180^\circ \cdot \frac{k-1}{k+1}. \quad (1)$$

$$OB_\gamma = l - r. \quad (2)$$

$$OB_1 = l + r. \quad (3)$$



Для побудови кінематичної схеми механізму у положенні, яке задане кутом φ , достатньо знати r , l та e . Послідовність побудови за цими даними наступна:

- 1) вибирається довільний напрямок KM (рис. 1);
- 2) паралельно KM на відстані e проводимо пряму $y - y$;
- 3) на прямій KM довільно вибираємо точку O із якої радіусом r проводимо траєкторію точки A ;
- 4) траєкторія точки A розмічається згідно закону руху кривошипа $\varphi = f(t)$. Зазвичай $\omega = const$, тому зручно розділити коло на n рівних частин, тобто на ділянки пропорційні часу;

5

точках $B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$ (на *рис.1* показана лише точка B). Ці точки визначають положення повзуна, які відповідають положенням кривошипа.

Для полегшення подальшого дослідження необхідно, щоб в сукупність розмічених точок входили точки, які відповідають крайнім положенням повзуна. У нашому випадку крайнім положенням повзуна відповідають точки A_1, A_2, B_1, B_2 .

б) з'єднуючи послідовно точки $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ з точкою O та відповідними точками $B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$, отримаємо кінематичну схему механізму за повний цикл роботи.

Розглянемо декілька найпростіших задач синтезу кривошипно-повзунного механізму.

Задача 1.

Дано: e , H та λ .

Необхідно визначити: r та l .

Враховуючи $\lambda = \frac{l}{r}$ знаходимо:

$$\frac{OB_1}{OB_2} = \frac{l+r}{l-r} = \frac{\lambda+1}{\lambda-1}. \quad (4)$$

Таким чином в трикутнику OB_1B_2 (*рис.1*) відомі: основа $B_1B_2 = H$, висота e , опущена із вершини O на основу B_1B_2 , і відношення сторін

$$\frac{OB_1}{OB_2} = \frac{l+r}{l-r} = \frac{\lambda+1}{\lambda-1}.$$

Побудову такого трикутника виконуємо наступним чином (*рис.2*):

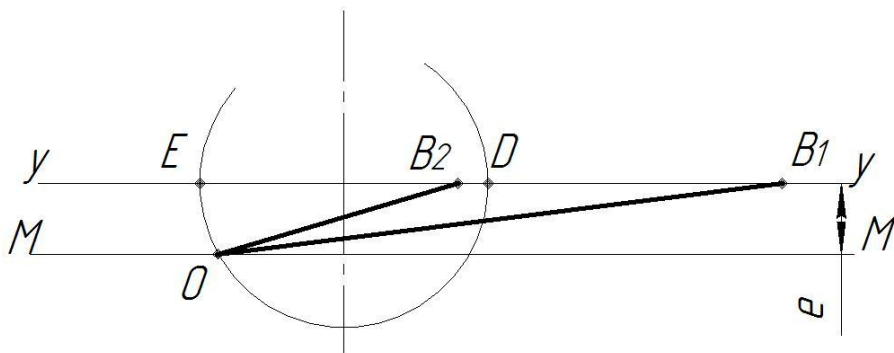


Рис.2. Схема до визначення r та l

1. Будуємо відрізок $B_1B_2 = H$.
2. Проводимо пряму MM паралельно B_1B_2 на відстані e .
3. Так як геометричне місце точок, відношення відстаней яких від двох заданих точок (B_1 і B_2) лишається постійним, є коло (так зване *коло Аполлонія*). Для його побудови чинимо наступним чином: знаходимо на прямій $y-y$ точки E і D , які задовольнятимуть (4), тобто ділимо $y-y$ так, щоб:

$$\frac{B_1D}{B_2D} = \frac{B_1E}{B_2E} = \frac{\lambda + 1}{\lambda - 1}.$$

4. На відрізку DE як на діаметрі будуємо коло. Шукана точка O лежить на перетині кола з прямою MM . Тепер можна визначити за довжиною сторін трикутника OB_1B_2 невідомі розміри r та l .

$$\begin{cases} OB_2 = l - r \\ OB_1 = l + r \end{cases} \quad (5)$$

Звідки

$$r = \frac{OB_1 - OB_2}{2}, \text{ або } l = \frac{OB_1 + OB_2}{2}. \quad (6)$$

Задача 2.

Дано: H , λ та k .

Необхідно визначити: r , l та e .

Порядок розв'язку, такої задачі наступний:

1. Із рівняння (1) визначимо кут Θ .
2. Із рівняння (4) знайдемо відношення $\frac{l+r}{l-r} = \frac{\lambda+1}{\lambda-1}$.
3. Проведемо горизонтальну пряму $y-y$, на якій відкладемо відрізок $B_1B_2 = H$ (рис.3).
4. Із точки B_1 під кутом Θ до прямої $y-y$ проведемо промінь B_1N .
5. Перпендикулярно до променя B_1N із точки B_1 проведемо промінь до перетину його із прямою, яка ділить відрізок B_1B_2 навпіл, отримаємо точку O_1 .
6. Із точки O_1 радіусом O_1B_1 будуємо на хорді B_1B_2 дугу, яка стягує вписаний кут Θ .
7. На прямій $y-y$ знайдемо точки D і E , побудуємо коло Аполлонія і знайдемо точку O (див. пункти 3 і 4, задачі 1).
8. Знайдемо радіус, кривошипа r і довжину шатуна l із відношень (5) та (6) (див. задачу 1).
9. Висотою трикутника OB_1B_2 , буде відрізок $OF = e$.

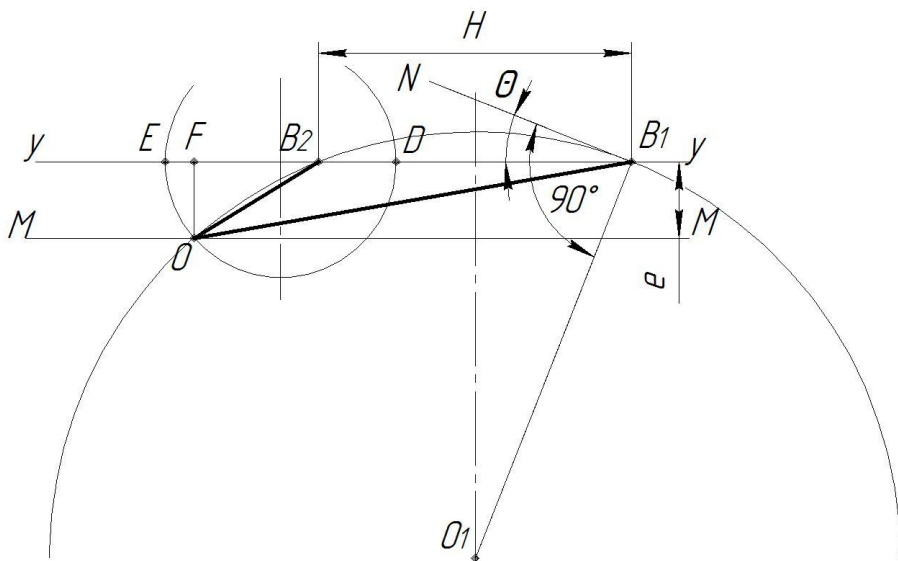


Рис.3. Схема до визначення r , l та e

Задача 3.

Дано: H , e та k .

Необхідно визначити: r та l .

Порядок розв'язку, такої задачі наступний:

1. Із рівняння (1) визначимо кут Θ .
2. Проведемо горизонтальну пряму $u-u$, на якій відкладемо відрізок $B_1B_2 = H$ (рис.4).
4. Із точки B_1 під кутом Θ до прямої $u-u$ проведемо промінь B_1N .
5. Перпендикулярно до променя B_1N із точки B_1 проведемо промінь до перетину його із прямою, яка ділить відрізок B_1B_2 навпіл, отримаємо точку O_1 .
6. Із точки O_1 радіусом O_1B_1 будуюмо на хорді B_1B_2 дугу, яка стягує вписаний кут Θ .
7. На відстані e від прямої $u-u$ проведемо пряму MM до перетину її із дугою, отримаємо точку O .

3. СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-КОРОМИСЛОВОГО МЕХАНІЗМУ

Порядок розв'язку, такої задачі наступний:

3. На відстані x від точки O знайдемо точку O_1 - центр обертання коромисла.

10

5. З'єднаємо точку O з точками B_1 і B_2 .

8. Знайдемо радіус, кривошипа r і довжину шатуна l із відношень (5) та (6):

$$\begin{cases} OB_2 = l - r \\ OB_1 = l + r \end{cases}$$

Звідки

$$r = \frac{OB_1 - OB_2}{2}, \text{ або } l = \frac{OB_1 + OB_2}{2}.$$

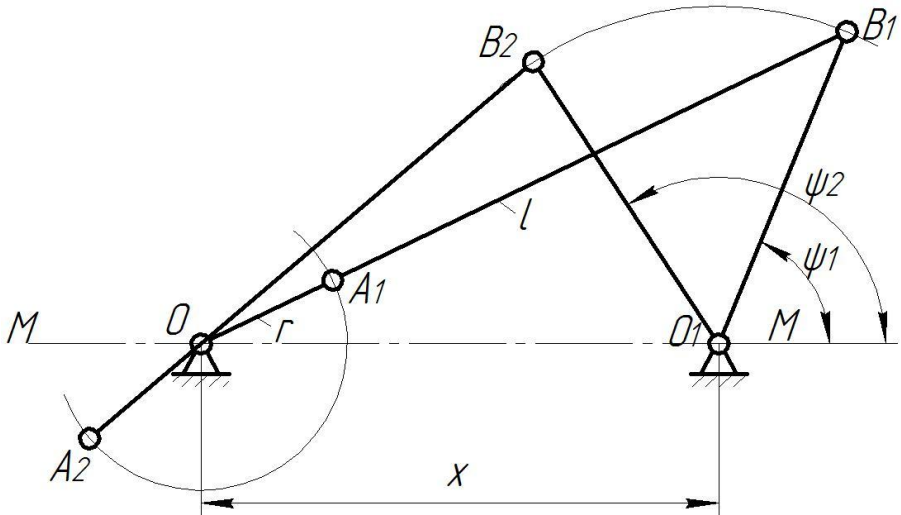


Рис.5. Кривошипно-коромисловий механізм

4. СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-КУЛІСНОГО МЕХАНІЗМУ

Нехай задані відстань x між центрами O і O_1 і коефіцієнт нерівномірності руху k . Необхідно знайти радіус r кривошипа OA (рис.6).

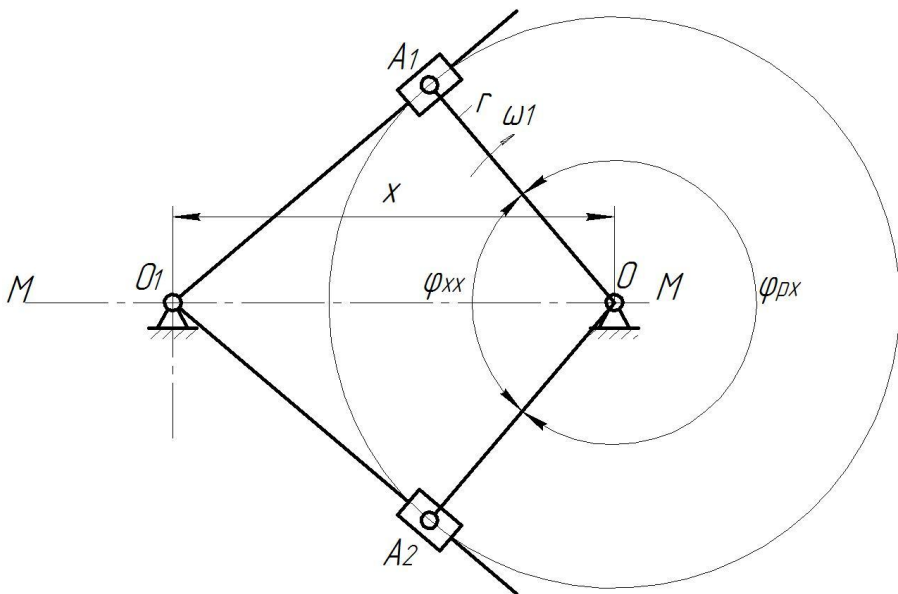


Рис.6. Кривошипно-кулісний механізм

Порядок розв'язку, такої задачі наступний:

1. Проведемо горизонтальну пряму MM (рис.6).
2. На прямій MM довільно вибираємо точку O - центр обертання кривошипа.
3. На відстані x від точки O знайдемо точку O_1 - центр обертання куліси.
4. Визначаємо кути робочого φ_{px} та холостого ходу φ_{xx} із умови:

$$\begin{cases} k = \frac{\varphi_{px}}{\varphi_{xx}} \\ \varphi_{px} + \varphi_{xx} = 360^\circ \end{cases} \quad (7)$$

4. Із точки O симетрично прямій MM відкладемо кути робочого φ_{px} та холостого ходу φ_{xx} .

5. Із точки O_1 проводимо промені перпендикулярні променям

проведеним із точки O , і на їх перетинах отримаємо точки A_1 та A_2 відповідно.

6. Отримані відрізки A_1O і A_2O будуть рівні довжині кривошипа r : $A_1O = A_2O = r$.

5. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КІНЕМАТИЧНОГО СИНТЕЗУ ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ

Виконати кінематичний синтез механізму преса, кінематична схема показана на *рис. 7*, відомі геометричні розміри наведені у *табл. 1*.

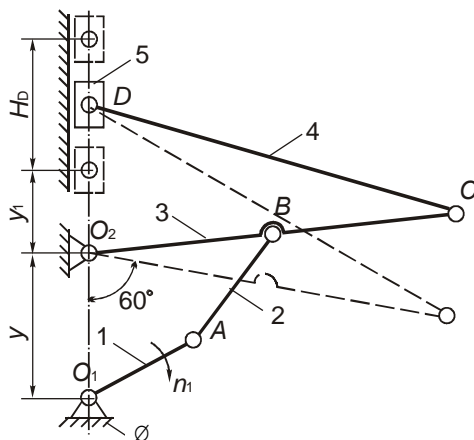


Рис. 7. Кінематична схема механізму преса

Таблиця 1

Вихідні дані

Позначення	H_D , мм	y_1 , мм	y , мм	l_{CO_2} , мм
Величина	80	280	250	220

Примітка: $l_{O_2B} = 0,5l_{CO_2}$.

Побудову виконуємо наступним чином:

1. За відомими геометричними параметрами підбираємо масштабний коефіцієнт:

$$\mu_l = \frac{l_y}{Y} = \frac{0,28}{140} = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}},$$

де l_y – дійсна величина координати y , м; Y – величина координати y на кресленні, мм.

2. Відкладаємо усі відомі геометричні розміри у підбраному масштабному коефіцієнті μ_l .

3. Довжину ланки 4 знаходимо побудувавши крайнє нижнє положення механізму і вимірявши відстань C_1D_1 , так як нам відоме розміщення ланок 2 і 5.

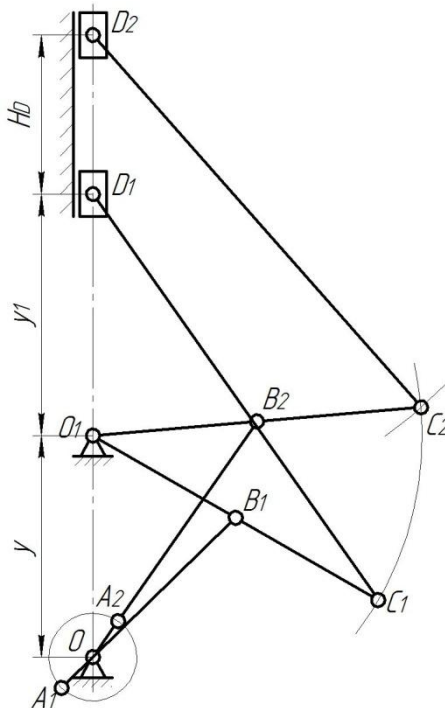


Рис.8. Визначення розмірів механізму преса

4. Визначивши довжину ланки 4 можемо побудувати положення механізму у крайньому верхньому положенні, так як на відоме положення повзуна (точка D_2).

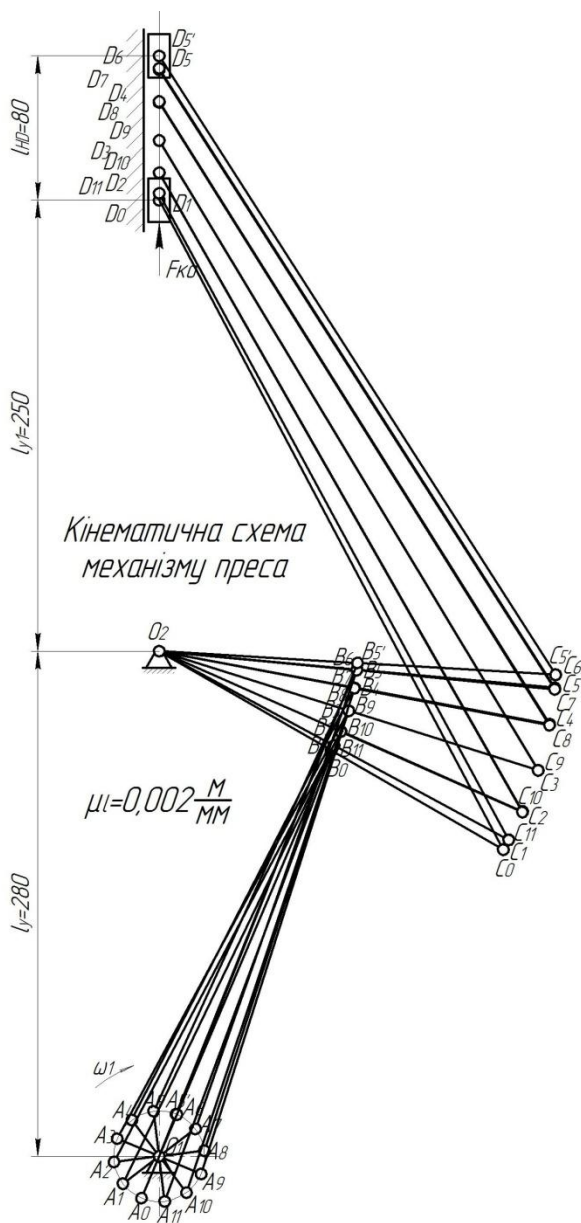


Рис.9. Кінематична схема механізму преса у 12 положеннях

5. Знаючи крайні положення ланки 5 та розміри ланок 4 і 3, можемо

знайти довжини кривошипа r та шатуна l (в нашому випадку половину довжини ланки 2), як для кривошипно-коромислового механізму (рис.8).

$$\begin{cases} OB_2 = l - r \\ OB_1 = l + r \end{cases}$$

Звідки

$$r = \frac{OB_1 - OB_2}{2} = \frac{147 - 122}{2} = 12,5 \text{ мм.}$$

6. Далі знаходимо довжину шатуна:

$$l = B_1O - r = 147 - 12,5 = 134,5 \text{ мм.}$$

7. Дійсні розміри ланок знаходимо домноживши їхні розміри взяті з креслення на масштабний коефіцієнт μ_l .

$$l_{AB} = \mu_l \cdot AB = 0,002 \cdot 134,5 = 0,269 \text{ м}$$

$$l_{AO_1} = \mu_l \cdot AO_1 = 0,002 \cdot 12,5 = 0,025 \text{ м}$$

$$l_{CD} = \mu_l \cdot CD = 0,002 \cdot 204 = 0,408 \text{ м}$$

де $AO = r$, $AB = l$ та CD – відрізки, які ми отримали на кресленні, мм.

8. Визначивши розміри ланок механізму преса, методом засічок, зображаємо його у 12 положеннях (рис.9).

Література

1. Артоболовский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для втузов. Москва : Наука, 1988. 640 с.
2. Турбин Б. И., Карлин В. Д. Теория механизмов и машин. Москва : Высш. шк., 1968. 366 с.
3. Теорія механізмів і машин. Розв'язання задач : навч. посібн. / Бабенко Є. М., Корнієнко А. О., Башта О. В., Крижановський А. С. Київ : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. 120 с.
4. Основи теорії механізмів і машин. Курс лекцій : підручник / Бурлака В. В., Кучеренко С. І., Мазоренко Д. І., Тищенко Л. М. Харків, 2009. 340 с.: іл. 161 с.

З М І С Т

Вступ.....	3
1. Загальні відомості.....	3
2. Синтез кривошипно-повзунного механізму.....	4
3. Синтез кривошипно-коромислового механізму.....	10
4. Синтез кривошипно-кулісного механізму	11
5. Приклад виконання кінематичного синтезу шести ланкового механізму.....	13
Література.....	16